PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

No. 7. 17. November 1900. 2. Jahrgang.

INHALT.

Originalmitteilungen:
S. Arrhenius, Über die Ursache der Nordlichter. (Schluss.) S. 97.
W. Biegon von Czudnochowski, Eine einfache Geberanordnung für Demonstrationen zur Funkentelegraphie. S. 105.
E. Riecke, Zur Dynamik der Serienschwingungen eines Linienspektrums. S. 107.

Zusammenfassende Bearbeitungen:
A. Nippoldt, Der heutige Stand der Theorie des Erdmagnetismus. S. 108.

Vorträge und Diskussionen von der 72. Naturforscherversammlung zu Aachen:
W. Wien, Die Temperatur und Entropie der Strahlung. S. 111.

Referate:
F. Ernecke (Berlin), Preisliste über Röntgenapparate und Instrumentarien. S. 112.
Einige thermische Eigenschaften am Quarz. S. 112.

Anzeige. S. 112.

MARINE BIOLOGICAL LABORATORY
WOODS HOLE
LIBRARY
MASS.

ORIGINALMITTEILUNGEN.

Über die Ursache der Nordlichter.

Von Svante Arrhenius.

(Schluss.)

Bisher haben wir nur diejenigen Eigenschaften der von der Sonne stammenden Partikelchen ins Auge gefasst, bei welchen keine elektrischen Kräfte mitspielen. Dass solche Kräfte mit ins Spiel kommen, kann man aus den Beobachtungen von Hrn. Wilson[1]) schliessen. Derselbe hat nämlich gezeigt, dass in ionisierten Gasen vorzugsweise die negativen Ionen als Kondensationskerne dienen. Dass bei den ausserordentlich heftigen Bewegungen auf der Sonne auch Trennungen von positiver und negativer Elektrizität vorkommen, hat man schon längst angenommen. Es ist nicht wohl denkbar, dass dies nicht zuträfe. Danach müssen Entladungen zustande kommen, in Vergleich mit welchen die elektrischen Entladungen bei vulkanischen Ausbrüchen auf der Erde ohne Zweifel ganz unscheinbar sind. Bei diesen Entladungen, welche sich wohl ebenso hoch in die Sonnenatmosphäre erstrecken, wie die ausgeschleuderten Massen, entwickeln sich Kathodenstrahlen in der dünnen oberen Sonnenatmosphäre, welche wiederum Röntgenstrahlen hervorrufen. Vielleicht werden sogar Röntgenstrahlen direkt (d. h. ohne Kathodenstrahlen als Erreger) von der Sonne ausgestrahlt, obgleich wir nichts davon kennen. Jedenfalls sind die Umstände auf der Sonne solche, dass man allen Anlass hat, nach irdischen Analogien, das häufige Vorkommen von Kathoden- oder Röntgenstrahlen in den dünneren Schichten der Sonnenatmosphäre zu erwarten. Diese Strahlengattungen besitzen die Fähigkeit, die durchstrahlten Gase zu ionisieren, wonach die Ionen, vorzugsweise die negativen, als Kondensationskeime Dienst thun.

Bei der Kondensation der aus der Sonne herausgeschleuderten Gase werden infolgedessen die ausfallenden Partikelchen sich vorzugsweise negativ laden und die negative Elektrizität auf ihrer Wanderung durch den Raum mitschleppen. Infolgedessen werden die Umgebungen der Sonne und anderer stark strahlenden Himmelskörper mit einer Atmosphäre (Corona), die positiv geladen ist, umgeben sein, während die negativ geladenen Körper in den Weltraum hinausfliegen. Ebenso werden diese negativen Partikelchen bei ihrer Wanderung durch den Weltraum anderen Himmelskörpern begegnen, wie Planeten, Monden u. s. w., und zum Teil darauf hinunterfallen, wodurch dieselben negativ geladen werden. Danach werden die negativen Partikelchen von diesen gleichnamig geladenen Himmelskörpern abgestossen, so dass sie in ihren Bahnen abgelenkt werden und längs hyperbolischen Linien sich bewegen. Diejenigen, welche die grösste Geschwindigkeit besitzen, werden jedoch teilweise die geladenen Himmelskörper erreichen.

Ihrerseits werden diese Himmelskörper ihre negative Ladung nicht ins Unbegrenzte erhöhen. Wenn nämlich das negative Potential eine gewisse Grenze übersteigt, tritt Entladung ein, welche durch die ultraviolette Strahlung der Sonne begünstigt wird. Es findet dann also ein „bewegliches Gleichgewicht" statt, indem in einer genügend langen Zeit ebenso viel negative Ladung mit Partikelchen zum betr. Himmelskörper transportiert wird, wie dieser in derselben Zeit durch Entladung unter Einwirkung der ultravioletten Sonnenstrahlung verliert. Vermutlich geht der Verlust so vor sich, dass kleine geladene Partikelchen hinausgestossen werden, so dass man gewissermaassen sagen kann, dass der ganze Effekt der im Wege

1) C. T. R. Wilson, Phil. Trans. Roy. Soc. Lond., Ser. A. Vol. 193, 289—308, 1899. Vgl. J. J. Thomson, Phil. Mag. (5) 46, 533 (1898).

der Sonnenpartikelchen stehenden Himmelskörper sich darauf beschränkt, dass sie eine Art Schatten hinter sich werfen, welcher zufolge der Ablenkung der Partikelchen breiter als der optische Schatten ist, und weiter, dass sie eine Zeit die negativen Partikelchen beherbergen und dadurch negative Ladung annehmen.

Die von dem beleuchteten Himmelskörper ausgehenden geladenen Partikelchen, ebenso wie die durch ihn abgelenkten, von der Sonne kommenden, werden hinter ihm eine Art Schweif bilden, dessen centrale Achse frei von geladenen Partikelchen bleibt, ungefähr wie die Achse eines Kometenschweifes frei von Schweifmaterie zu sein scheint. Diese Schirmwirkung üben die Planeten und ihre Monde sowohl gegen die direkt von der Sonne ausgehende, wie gegen die zur Sonne zurückkehrende radielle Strömung von negativ geladenen Körperchen aus.

Denken wir uns jetzt die Verhältnisse, wie sie nach dieser Ansicht auf der Erde obwalten werden. Die zur Sonne gewendete (Tages-) Seite der Erde wird durch einen Regen von negativ geladenen Partikelchen übersäet. Diese bleiben in den höchsten Luftschichten, noch höher als die höchsten Sternschnuppen, welche, da sie genügend Licht aussenden, um in einer Entfernung von mehr als 100 Kilometern gesehen zu werden, eine nicht unbedeutende Masse besitzen müssen. Wir können demnach, da die höchsten Sternschnuppen auf etwa 160 Kilometer Höhe erscheinen, ungefähr 200 Kilometer Höhe als die Stelle angeben, wo die kleinen Partikelchen von weniger als 1 μ Grösse stecken bleiben. Diese Luftschichten, die in der Nähe des Punktes, welcher auf der Verbindungslinie der Mittelpunkte von Erde und Sonne liegt, am stärksten geladen sind, entladen sich wieder und geben dann zu Kathodenstrahlen Anlass. Der grösste Teil der Entladungen wird unter dem Einflusse der ultravioletten Sonnenstrahlung am Tage vor sich gehen und nicht allzuweit von den Stellen Platz nehmen, wo die geladenen Partikelchen gefallen sind (also am meisten in den Äquatorialgegenden). Zufolge von Luftströmungen können aber auch zu anderen Tageszeiten und in Gegenden, die wenig oder gar kein Sonnenlicht erhalten, solche Anhäufungen von negativer Elektrizität stattfinden, dass Entladungen mit danach folgenden Kathodenstrahlen stattfinden.

Bekanntlich hat der hervorragende Nordlichtkenner Dr. Adam Paulsen[1]) eine so ausserordentliche Übereinstimmung in den Eigenschaften von Nordlicht und Kathodenstrahlen gefunden, dass er die erste Erscheinung für einen speziellen Fall der zweiten erklärt hat. Nur eine Schwierigkeit haftete dieser Ansicht an, nämlich der Mangel einer Vorstellung, wie diese Kathodenstrahlen wohl entstehen. Dieser Schwierigkeit wird offenbar durch die oben ausgeführte Anschauung abgeholfen. Da die Anhäufung der negativen elektrischen Massen auf einer Höhe von etwa 200 Kilometer vorkommt, wo der Luftdruck etwa 10^{-8} bis 10^{-9} Millimeter Quecksilber beträgt, so findet der Anfang der Kathodenstrahlen in einer so stark verdünnten Materie statt, dass sie keine merkliche Lichterscheinung zu Stande bringen. Dafür dringen sie ohne merkliche Absorption um so weiter hinein. Nun folgt aus der Natur der Kathodenstrahlen, dass sie in einem Magnetfeld nur dann geradlinig sich fortpflanzen, wenn sie in der Richtung der magnetischen Kraftlinien verlaufen. Sonst beschreiben sie Schraubenlinien um diese Richtung als Achse, von um so stärkerer Krümmung, je steiler sie gegen die magnetische Kraftlinien stehen. Die magnetischen Kraftlinien liegen nun am Äquator nahezu parallel zur Erdoberfläche; es folgt daraus, dass die Kathodenstrahlen in der Nähe des Äquators nicht in die tieferen Luftschichten einzudringen vermögen und deshalb keine stärkere Lichterscheinung hervorrufen können. Die Entladungen werden deshalb in der Nähe des Äquators nur einen diffusen schwachen, weit ausgebreiteten Lichtschein hervorrufen. Man hat auch da die Nordlichtlinie im diffusen Himmelslicht der Nacht (dem sog. Erdschein) gefunden. Je weiter man sich von dem Äquator entfernt, desto steiler stehen die magnetischen Kraftlinien zur Erdoberfläche. Eine Folge davon ist, dass die Kathodenstrahlen um so tiefer in die Atmosphäre hineindringen. Erst wenn dieselben in Schichten mit dichterer Luft (von der Grössenordnung 0.01 mm Druck) hineinkommen, geben sie zu stärkeren Lichterscheinungen Anlass, welche als Nordlicht bezeichnet werden. Je weiter also vom Äquator, desto häufiger werden anfangs die Polarlichterscheinungen und desto tiefer liegen dieselben. Dies stimmt sehr gut mit der Erfahrung überein. Natürlicherweise wird eine Grenze dieser Zunahme dadurch gesetzt, dass in der Nähe der Pole keine nennenswerten Mengen von negativen Partikelchen in die äussere Atmosphäre niederfallen. Es werden offenbar um die Pole und die magnetischen Pole (wo die magnetischen Kraftlinien senkrecht stehen) zwei Ringe liegen, auf welchen die Polarlichter am häufigsten vorkommen, wie dies thatsächlich der Fall ist.

Ausserdem wird natürlicherweise die Häufigkeit des Polarlichtes denselben Veränderungen unterworfen sein, wie die Mengen von aus der Sonnenumgebung ausgetriebenen negativ gela-

1) Ad. Paulsen: Sur la nature et l'origine de l'aurore boréale. Bull. de l'Ac. Roy. d. Se. de Copenhague 1894.

denen Partikelchen. Diese Mengen werden wohl in erster Linie der Fleckenzahl der gegenüber der Erde stehenden Teile der Sonne und dem Cosinus des Winkels zwischen Sonnenstrahlen und Erdnormale an der betreffenden Stelle sowie der Bestrahlungszeit proportional zu setzen sein. Einen geringeren Einfluss wird die in verschiedenen Jahreszeiten verschiedene Entfernung zwischen Sonne und Erde ausüben.

Die wichtigste Eigentümlichkeit bei dem Polarlicht ist die ausgeprägte Periodizität in seiner Häufigkeit. Die auffallendste Periode ist die mit der Sonnenfleckenperiode zusammenfallende, 11.1 Jahre umfassende. Wahrscheinlicherweise kommen noch längere sekuläre Perioden vor, in welchen die Nordlichterscheinung mehr oder weniger kräftig sich geltend macht, wie schon de Marian in seiner klassischen Untersuchung festgestellt hat.[1]) So z. B. fanden ungewöhnlich kräftige Nordlichtentwicklungen um die Mitte des achtzehnten und am Ende des neunzehnten Jahrhunderts statt, welchen ausgeprägte Minima vorangegangen waren. Diese längeren sekulären Schwankungen, deren genaue Natur noch nicht festgestellt werden konnte, hängen auch wahrscheinlicherweise mit Schwankungen in der Sonnenthätigkeit zusammen. Wenigstens war die Menge der Sonnenflecken zur Zeit ihrer Maxima beim Beginn der zwei letztverflossenen Jahrhunderte, zu welcher Zeit die Nordlichter sehr spärlich vorkamen, ungewöhnlich knapp. Danach wäre diese sekuläre Periode gleich etwa 10 Perioden von 11.1 Jahren; einige Forscher wollen dieselbe nur halb so lang rechnen.

Ausser diesen langen Perioden besitzt das Polarlicht eine jährliche Periode mit zwei Maximis zu den Zeiten der Tagesgleichen und zwei Minimis um die Sonnenwenden. Von den Maximis scheint dasjenige im Herbst etwas kräftiger als dasjenige im Frühling zu sein. Dies geht besonders deutlich aus den Daten aus Nordamerika hervor, wo die jährliche Veränderlichkeit der Tageslänge und -Helligkeit am wenigsten störend einwirkt. Sehr weit nach Norden, wie in Island und Grönland, verschieben sich zufolge der genannten Störung die Maxima so stark zur dunkelsten Jahreszeit hin, dass sie zu einem einzigen Maximum im Dezember zusammenfliessen, während in Juni und Juli keine Nordlichter wegen der starken Beleuchtung des Himmels gesehen werden. Nach den Beobachtungen aus Nordamerika ist trotz der stärkeren Helligkeit des Himmels im Sommer die Frequenz der Nordlichter in dieser Jahreszeit grösser als im Winter (das Juniminimum zeigt 1061 Nordlichter, während das Dezemberminimum nur 912 aufweist). Wenn man eine Korrektion wegen der Änderung der Helligkeit einführte, würde sich der Vergleich noch mehr zu Gunsten des Sommers verschieben. Dasselbe gilt für die südliche Halbkugel, wo die Polarlichter am Sommerminimum (Januar) etwa doppelt so häufig sind wie am Winterminimum (Juni bis Juli). Wenn also in den den Polen näheren Gegenden, wie Skandinavien und noch mehr Island und Grönland, das Sommerminimum ausserordentlich viel ausgeprägter ist, als dasjenige im Winter, so rührt dies wahrscheinlicherweise nur von sekundären Umständen her, indem die Helligkeit der Sommernächte die Beobachtung der Polarlichter beinahe vollkommen ausschliesst.[1])

Die Monatsperioden der Polarlichter sind erst in letzter Zeit aufgefunden worden. Ekholm und Arrhenius wiesen eine Periode nach, welche mit dem tropischen Mondumlauf zusammenfällt. Das Maximum der Nordlichter tritt zur Zeit des südlichen Lunistitiums, das Minimum umgekehrt zur Zeit des nördlichen Lunistitiums ein. Für die südliche Halbkugel liegen Maximum und Minimum umgekehrt. Die Schwankung beträgt etwa + 20 Prozent.[2]) Eine andere nahezu monatslange Periode, bei welcher aber das Maximum gleichzeitig auf den beiden Halbkugeln eintrifft, ist die eigentümliche nahezu 26tägige Periode, welche man früher in erdmagnetischen und anderen (z. B. barometrischen) Erscheinungen nachwies. Die Länge dieser Periode, welche eine Amplitude von etwa + 10 Prozent aufweist, wurde von Ekholm und Arrhenius zu 25.93 Tagen festgestellt.[3])

Die kürzeste der Polarlichtperioden ist die tägliche. Die Mehrzahl der Nordlichter fällt vor Mitternacht. Nach Fritz[4]) trifft das tägliche Maximum in Mitteleuropa (50° N. Br.) etwa um 9^h abends ein, an nördlicher gelegenen Orten wie Upsala und Christiania (60° N. Br.) um $9^h\,30^m$ bis 10^h und bei Bossekop (70° N. Br.) um $10^h\,30^m$. In Amerika scheint das Maximum etwas später einzutreten, in mittleren Breiten (40—50° N. Br.) um 10^h, in den amerikanischen Polarländern (60—70° N. Br.) etwa um Mitternacht.

Diese tägliche Variation wird in höchstem Maass durch die Helligkeitsverhältnisse beeinträchtigt. Das Polarlicht ist im Tageslicht absolut unsichtbar und kann erst nach Ende der Dämmerung richtig zur Geltung kommen. Wenn nicht fremdes Licht störend einwirkte, so müsste das wirkliche Maximum also früher eintreffen, als das beobachtete, und es kann wohl vermutet

1) l. c., 179.

1) Das statistische Material, aus welchem diese Schlüsse gezogen sind, findet sich in einer Abhandlung von Ekholm und Arrhenius, Kongl. Svenska Vet.-Akademiens Handlingar, 31, 15, 1898.

2) Ekholm und Arrhenius, l. c., 51.

3) Ekholm und Arrhenius, Kongl. Svenska Vet.-Akademiens Handlingar, 31, 18, (1898).

4) Fritz, Das Polarlicht, Lpz. 1881, 102.

werden, dass es nach der Mittagsstunde fällt, ungefähr wie dasjenige der magnetischen Deklination. Ein Versuch, wegen der ungleichen Helligkeit zu korrigieren, ist von Carlheim-Gyllenskiöld ausgeführt worden. Seine Beobachtungen wurden im Winter 1882—1883 in Cap Thordsen auf Spitzbergen ausgeführt und führen unkorrigiert zu einem Maximum um etwa 8^h N. M., während das korrigierte Maximum um $2^h\,40^m$ N. M. eintrifft.[1])

Bei der sekulären Periode tritt eine sehr ausgeprägte Eigentümlichkeit hervor, nämlich dass sie sich um so mehr geltend macht, je näher das Beobachtungsgebiet am Äquator liegt. Auf Island und Grönland ist sie kaum zu entdecken. Ähnliche Betrachtungen lassen sich betreffs der 25.93tägigen[2]) und der täglichen Periode machen. So z. B. ist nach Carlheim-Gyllenskiöld die wirkliche tägliche Periode der Nordlichter auf Spitzbergen sehr wenig ausgeprägt.[3]) Dies lässt sich leicht verstehen.

Am einfachsten ist natürlicherweise die Erklärung der elfjährigen und anderer sekulären Perioden, welche mit der Fleckenfrequenz in Zusammenhang stehen. Je mehr Sonnenflecken vorkommen, desto stärkere Tropfenbildung entsteht in den äusseren Schichten der Sonne, und desto mehr negativ geladene Partikelchen werden zur Erde von der Sonnenstrahlung getrieben. Ebenso leicht ist die Erklärung der doppelten Periode in einem Jahr. Die Sonnenthätigkeit hat bekanntlich ein Minimum am Sonnenäquator, von wo sie nach beiden Seiten zunimmt, um bei etwa 15^0 N. und S. Br. ein Maximum zu erreichen. Die Erde steht nun gegenüber dem Sonnenäquator in zwei Stellungen am 6. Dezember und am 4. Juni. Von da ab entfernt sich die Erde vom Sonnenäquator, weil die Ebene desselben einen Winkel von 7^0 mit der Ekliptik bildet, so dass die Erde am 5. März gegenüber einem Punkt 7^0 N. vom Sonnenäquator und am 3. September gegenüber einem Punkt 7^0 S. vom Sonnenäquator steht. Da die Ausströmung von geladenen Partikelchen hauptsächlich senkrecht von der Sonnenoberfläche ausgeht, so wird die Erde einer schärferen Sonnenthätigkeit um den 5. März und den 3. September ausgesetzt als zu anderen Jahreszeiten, weshalb um diese Zeiten zwei Maxima eintreffen müssen. Die Minima sollen danach stattfinden, wenn die Erde den Sonnenäquator am 6. Dezember und am 4. Juni passiert. Dies entspricht gänzlich dem jährlichen Gang der Nordlichtfrequenz. Ebenso wird das Minimum in Juni schwächer sein als dasjenige im Dezember, weil die Erde sich im ersten Fall in der Nähe des Aphels, im zweiten in der Nähe des Perihels befindet. Nach dem gesammelten Ziffernmaterial scheint dies auch einzutreffen, indem das Mittel der relativen Frequenz im Juni zu derjenigen im Dezember für die beiden Halbkugeln geringer als 1 ausfällt. Hier spielen die Jahreszeiten ein. Je höher die Sonne in einem Punkte steht, desto mehr muss er von den Sonnenpartikelchen getroffen werden. Folglich soll die Polarlichtfrequenz im Sommer grösser als im Winter sein. Dies trifft auch zu, sobald die Beleuchtung nicht allzu stark die Sichtbarkeit der Polarlichter beeinträchtigt. In Gegenden, wo die Nacht im Sommer nicht allzu hell wird, um die Beobachtung von Polarlichtern stark zu beeinträchtigen, d. h. an Punkten, die nicht allzu entfernt vom Äquator liegen, trifft dies auch zu, wie die Beobachtungen aus Amerika und von der südlichen Halbkugel lehren. Aus eben denselben Gründen sollte die Polarlichtfrequenz ein Maximum ein paar Stunden nach dem Mittag besitzen ungefähr wie die Lufttemperatur, da um diese Zeit die Anhäufung von Sonnenstaub in den obersten Luftschichten ein Maximum erreichen muss. Da nun um diese Zeit herum die Nordlichter unsichtbar sind, so kann man nur verlangen, dass die Nordlichter vor Mitternacht häufiger vorkommen sollen als nach Mitternacht, was auch überall einzutreffen scheint. Bemerkenswert erscheint, dass Gyllenskiöld nach Einführung einer Korrektion wegen der Beleuchtung das wirkliche tägliche Maximum der Nordlichtfrequenz um etwa 3 Uhr N. M. gefunden hat.

Die Polarlichter geben sich durch magnetische Störungen kund, und diese sind natürlicherweise davon unabhängig, ob jene sichtbar sind oder nicht. Das Studium der erdmagnetischen Störungen scheint deshalb sehr wertvolle Einblicke in die Natur der Polarlichter geben zu können. Solche Störungen sind in Batavia photographisch registriert worden und sind nachher von van Bemmelen[1]) einer Diskussion unterworfen worden. Aus dieser Untersuchung geht hervor, dass diese Störungen eine halbjährliche Periode besitzen mit Maximis in März und September, Minimis in Januar und Juni. Sie sind von den Sonnenflecken abhängig, indem beide Erscheinungen gleichzeitig zu- oder abnehmen. Diese beiden Umstände zeigen, dass die Störungen als eine Manifestation der Polarlichter betrachtet werden können. Die tägliche Periode dieser Störungen hat ein Maximum um 3 Uhr N. M. und ein Minimum um 1 Uhr V. M. Es ist demnach wahrscheinlich, dass die Polarlichter, wenn das Tageslicht nicht ihre Beobachtung beeinträchtigte, ein Maximum ein paar

1) Carlheim-Gyllenskiöld, Observations faites au Cap Thordsen **II**, 1, 197, 1886.
2) Ekholm und Arrhenius, K. Sv. Vet.-Ak. Handl., **31**, 19, 1898.
3) Carlheim-Gyllenskiöld, l. c.

1) van Bemmelen: Verslagen en Mededeelinge Ak. v. Wetenschappen te Amsterdam Nov. 22 1899.

Stunden nach dem Mittag zeigen würden, wie die Theorie verlangt.

Wir kommen jetzt zu den etwa monatslangen Perioden. Von denselben ist die nahezu 26tägige mit der synodischen Umlaufszeit der Sonne, und zwar des Sonnenäquators, in Zusammenhang gestellt worden. Allerdings war es früher schwer, zu verstehen, warum man mit dem Sonnenäquator rechnen sollte, da man der Ansicht war, dass die Sonnenflecken die Polarlichter hervorrufen, und das Maximum der Sonnenflecken etwa 15° N. und S. vom Äquator fällt. Es erscheint daher sachgemässer, mit der synodischen Umlaufszeit dieser Maximalregion der Flecken, welche sich auf etwa 27,3 Tage beläuft, zu rechnen. Nach der oben ausgeführten Anschauung muss man aber, da die Erde sich sehr wenig vom Äquator der Sonne entfernt und immer zweimal jährlich zum Sonnenäquator zurückkehrt, mit der Umdrehungszeit der Sonne am Sonnenäquator rechnen. Diese beträgt nun für die Flecken 26.8 Tage und für die Fackeln 26.06 Tage. Es ist natürlich mit der Umdrehungszeit der Fackeln zu rechnen, da von diesen die Eruptionen ausgehen, welche Sonnenstaub nach dem Weltraum aussenden. Die Umdrehungszeit der Fackeln unterscheidet sich nun in der That sehr wenig von der Periodenlänge 25.93 Tage, welche aus der Frequenz der Polarlichter berechnet worden ist. Der Unterschied fällt noch geringer aus, wenn man bedenkt, dass höher gelegene Teile der Sonnenatmosphäre kürzere Umdrehungszeit besitzen, wie tiefer gelegene, und also die höher gelegenen Fackeln etwas schneller rotieren werden als die Fackeln im Mittel. Natürlicherweise haben aber die höher gelegenen Fackeln einen grösseren Einfluss, wie die niedriger gelegenen, in Bezug auf die Aussendung von Staubpartikelchen. Wir können folglich die synodische Rotationszeit 25.93 als innerhalb der Beobachtungsfehler mit der Rotationszeit der höher gelegenen Fackeln identisch ansehen. Die Erklärung der 25.93tägigen Periode ist damit gegeben.

Etwas komplizierter verhält sich die Periode der Polarlichtfrequenz nach dem tropischen Umlauf des Mondes um die Erde. Die einfachste Erklärung derselben, welche sich auch der von Ekholm und mir früher gegebenen nahe anschliesst, scheint mir diejenige zu sein, dass man den Mond als einen stark negativ geladenen Körper betrachtet. Die Ladung des Mondes rührt wie diejenige der höheren Luftschichten von den von der Sonne weggestossenen negativen Partikelchen her. Steht nun der Mond über einer elektrisch gleich geladenen Luftschicht, so wird der Potentialfall in der Richtung hinaus vermindert und Entladungen treten nicht so leicht ein, wie wenn der Mond nicht da wäre. Man kann dagegen sagen, dass der Mond in einer viel zu grossen Entfernung stände, um einen merklichen Einfluss auszuüben. In dieser Hinsicht verweise ich auf die früheren von Ekholm und mir gemachten Berechnungen, wonach die Ladung des Mondes gar nicht so übermässig gross sein müsste (etwa 10000 mal grösser als diejenige der inneren Erdkugel), um eine starke Veränderung des elektrischen Feldes in der Umgebung der Erde hervorzubringen.[1]) Damals erschien diese Mondladung relativ gross, als man noch nicht die Ladung der äussersten Luftschichten kannte, und sie mit der Ladung der inneren Erdkugel verglich. Aber nach der Art und Weise zu urteilen, wie die Ladung der fest-flüssigen Erde entsteht (vgl. weiter unten), wird es höchst wahrscheinlich, dass dieselbe nur einen sehr geringen Bruchteil der Ladung in den höheren Luftschichten ausmacht. Und gerade diese letztere ist es, mit welcher die Mondladung verglichen werden soll, da sie in derselben Weise entsteht. Es ist demnach gar nicht undenkbar, dass die Mondladung eine recht beträchtliche Grösse besitzt, so dass sie die Entladungen von der äusseren Luft in Luftschichten, über welchen der Mond steht, merklich zu verhindern vermag. Steht dagegen der Mond unter dem Horizont, dürfte seine Wirkung durch die Schirmwirkung der dazwischen liegenden Erde bedeutend geschwächt sein. Wenn also der Mond nördlich vom Äquator steht, wird er vorzugsweise die Entladungen auf der nördlichen Halbkugel verhindern, und umgekehrt, wenn er südlich vom Äquator steht. Mit anderen Worten, der Mond wird, wenn er nördlich vom Äquator steht, die Zahl der Nordlichter, wenn er südlich vom Äquator steht, dagegen die Zahl der Südlichter vermindern.

Mit dieser Anschauungsweise stimmt auch der Einfluss des Mondes auf die Luftelektrizität. Wenn die Kathodenstrahlen der Polarlichter in die untenliegende Atmosphäre hineindringen, so ionisieren sie die daselbst befindliche Luft. Natürlicherweise wird die Ionisierung vorzugsweise in den höher belegenen Luftschichten stattfinden. Nach den in neuester Zeit veröffentlichten Untersuchungen von Elster und Geitel[2]), sowie von Lenard scheint die Luft in höher gelegenen Gegenden ionisiert zu sein, wie ich schon in meiner theoretischen Behandlung der Luftelektrizität voraussetzte.[3]) Die Folge einer solchen Ionisierung ist von J. J. Thomson[4])

1) Ekholm und Arrhenius, Bihang t. K. Sv. Vet.-Ak. Handl. **19**, Afd. 1, 35, 1894.

2) Elster und Geitel, Terrestrial magnetism and atmospheric electricity, Dec. 1899 (diese Zeitschrift I, 245, 1900). Vgl. Lenard: Ann. d. Physik (4) **1**, 505, 1900.

3) S. Arrhenius, Meteorol. Zeitschr. **5**, 1888.

4) J. J. Thomson, Phil. Mag. (5) **46**, 533, 1898.

hervorgehoben worden. Der Wasserdampf kondensiert sich mit Vorliebe auf den negativen Ionen der Luft und diese werden zur Erde hinuntergeführt, während die positive Ladung in den höheren Schichten verbleibt. Je stärker also die Zahl der Nordlichter, desto grösser müsste die positive Ladung der oberen Luftschichten und die negative der Erdoberfläche sein. Leider erlauben die bisherigen Beobachtungen nicht die Richtigkeit dieser Schlussweise zu prüfen, wonach die Luftelektrizität mit der Sonnenfleckenfrequenz schwanken müsste. Dagegen scheint es durch die Messungen bei Ballonfahrten in letzter Zeit konstatiert zu sein, dass über der Erdoberfläche in der Luft eine positive Ladung vorherrscht, welche so gross ist, dass sie in etwa 3000 m Höhe die Wirkung der negativen Ladung der Erde nach aussen neutralisiert.[1])

Wenn nun der Mond hoch steht, so wird die Zahl der Nordlichter dadurch vermindert, und infolgedessen die Stärke der negativen Ladung der Erde und diejenige der positiven Ladung der Luft ebenfalls verringert. Dies findet nun auch statt und zwar kennt man eine tägliche und eine tropisch-monatliche Periode der Erscheinung. Da offenbar in diesem Fall eine längere Einwirkung zum Erreichen eines grösseren Effektes nötig ist — die negative Elektrizität muss durch Kondensationen erst zur Erde transportiert werden — so ist es leicht ersichtlich, dass die tägliche Periode sich nur relativ schwach entwickeln kann in Vergleich zu der monatlichen. Diesen Umstand zu erklären, bot früher die grösste Schwierigkeit als die direkte Influenzwirkung des Mondes auf den Erdkörper als ausschlaggebend betrachtet wurde. Man muss ihr vielmehr nur eine untergeordnete Wirkung zuschreiben. Diesem Gang entspricht das Verhalten der polaren Beobachtungsorte, Cap Horn und Cap Thordsen. Die eigentümliche Phasenverschiebung, welche bei südlicher gelegenen Beobachtungsorten gefunden ist, möge unbesprochen bleiben, bis eine grössere Menge von empirischem Material vorliegt.

Eine andere luftelektrische Erscheinung, welche Paulsen[2]) in seiner Nordlichttheorie erwähnt, ist diejenige, dass, gleich nachdem durch die Kathodenstrahlen negative elektrische Massen in die niederen Luftschichten hineingedrungen sind, die negative Ladung der darunter liegenden Erdoberfläche geschwächt erscheint, was ja selbstverständlich ist. Überhaupt muss die hier ausgeführte Ansicht über die Entstehungsweise der Nordlichter vollkommen mit der Paulsenschen Nordlichttheorie übereinstimmen, da sie die Voraussetzung dieser Theorie erfüllt.

Zufolge der Fähigkeit der Kathodenstrahlen, Kondensationen hervorzurufen, werden, wie Paulsen hervorhebt, die Nordlichter von Wolkenbildungen begleitet. Überhaupt ist es schon lange bekannt, dass in den Nordlichtjahren die Menge der höher liegenden Wolken viel grösser ist, als in den nordlichtarmen Jahren. Auch für Jupiter scheint nach Beobachtungen von Vogel was Ähnliches zu gelten. In Jahren von vielen Sonnenflecken erscheint dieser Planet mit weisslicherem Licht, in Jahren von wenigen Sonnenflecken mit rötlicherem. Da man nun einig ist, dass Jupiter um so röter erscheint, je tiefer man in seine Atmosphäre hineinschauen kann, so stimmt dies damit, dass in sonnenfleckenreichen Jahren die Wolkenbildung auf Jupiter reichlicher ist, wie in sonnenfleckenarmen. Auch auf Jupiter fällt kosmischer negativ geladener Staub von der Sonne, und es müssen denn auf diesem Planeten ähnliche Zustände in elektrischer Beziehung in den höheren Schichten der Atmosphäre obwalten, wie in denjenigen der Erde. Auf die eigentümlichen Lichterscheinungen auf Venus, welche mit dem Nordlicht parallelisiert worden sind, will ich nicht näher eingehen, da ihre Realität von vielen Astronomen bezweifelt wird. Geleugnet kann es nicht werden, dass Venus wegen ihrer nahen Lage zur Sonne und ihrer dichten Atmosphäre ausserordentlich günstige Bedingungen für die Entwickelung von Polarlichtern bietet.

Es ist natürlich anzunehmen, dass auch die Tröpfchen in den Kometenschweifen vorzugsweise auf negativen Partikelchen sich kondensieren, woraus folgt, dass sie negativ geladen sind. Daraus sollte man schliessen, dass die Erde, wenn sie einen Kometenschweif durchschreitet, der Schauplatz von nordlichtartigen Erscheinungen sein sollte. Dies scheint auch der Fall zu sein. Lowe sagt: „Diesen Tag (beim Durchgang der Erde durch einen Kometenschweif) hatte der Himmel einen eigentümlichen Glanz, so dass, wenn es Abend gewesen wäre, ich ein Nordlicht zu sehen geglaubt hätte.“ Auch Liais und Secchi sollen ähnliche Erscheinungen beobachtet haben.[1])

Auch die Erscheinungen des Erdmagnetismus scheinen mit dieser Ansicht in gutem Einklang zu stehen. Die täglichen Variationen des Erdmagnetismus können nach einer Abhandlung von v. Bezold[2]) in einfachster Weise folgendermaassen dargestellt werden. Auf der

1) Nach Messungen von André, Le Cadet, Börnstein und Baschin (Meteorol. Zeitschr. **11**, 351, 1894).

2) Paulsen: l. c., 7.

1) Lowe: The english mechanic and world of science, Vol. **34**, 275, 1881. Vgl. J. C. Houzeau: Vademecum de l'Astronome, Bruxelles 1882, 784. Dieses Citat verdanke ich Hrn. Dr. J. R. Rydberg.

2) von Bezold: Über Erdmagnetismus, Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, **32**, 1899. Sitzber. d. Berl. Ak. 1897, 444.

von der Sonne beschienenen Erdhälfte bilden sich zwei Centra, ein nördliches und ein südliches, etwa 40° N. und S. vom Äquator an den Stellen der stärksten Insolation (wo die Sonnenzeit etwa 11 Uhr V. M. ist). Das nördliche Centrum ist stärker, wenn die Deklination der Sonne nördlich ist, und umgekehrt, wenn sie südlich ist. Zum nördlichen Centrum hinein zeigt das Nordende der Magnetnadel, zum südlichen das Südende, wenn man nur dasjenige magnetische Feld betrachtet, welches die tägliche Änderung des Magnetismus darstellt. Bedenkt man nun, dass die Luftschichten positiv geladen sind, so findet man, dass die genannte Richtung der Magnetnadel zu Stande gebracht werden muss, wenn man annimmt, es entstehen durch die Sonnenwirkung zwei Cyklonen, eine nördliche und eine südliche, über den Stellen der stärksten Sonnenwirkung. Um diese Cyklonen herum wirbeln die Winde wie gewöhnlich auf der nördlichen Halbkugel umgekehrt, auf der südlichen Halbkugel dagegen im selben Sinne wie die Zeiger einer Uhr. Neben den starken Cyklonen auf der Sonnenseite giebt es auf der beschatteten Seite zwei viel diffusere Anticyklonen-Systeme, in welchen die Windrichtung umgekehrt ist, und deshalb die Magnetnadel eine entgegengesetzte Richtung besitzt. Diese Cyklonen und Anticyklonen sind wohl bisher nicht direkt nachgewiesen worden — man müsste sie wahrscheinlich an der täglichen Periode im Gang der höheren und besonders höchsten Wolken entdecken. Da aber die Absorption der Sonnenstrahlen in der Atmosphäre eine gleiche Cirkulation notwendigerweise hervorrufen muss, wenn nur nichts ihre Ausbildung verhindert, und die erdmagnetische Variation in dieser Weise ausserordentlich leicht verständlich wird, so bin ich überzeugt, dass, sobald man genug statistisches Material zur Beurteilung der täglichen Änderung in der Bewegung der höheren Luftschichten besitzen wird, dasselbe die genannte Verteilung der Winde nachweisen wird.

In sonnenfleckenreichen Jahren ist natürlicherweise die positive Ladung der Luft kräftiger wie sonst, d. h., der tägliche Gang der Magnetnadel wird eine stärkere Amplitude wie sonst haben. Aus dieser Anschauung folgt es, dass an verschiedenen Stellen diese Amplitude A um den gleichen Bruchteil zunimmt, so dass, wenn A_0 den Wert von A in einem Jahr von keinen Sonnenflecken, A_f den entsprechenden Wert in einem Jahr, wenn die Relativzahl von Wolf gleich f ist, die Beziehung gilt:

$$A_f = A_0(1 + \alpha f).$$

Diese Beziehung ist sehr nahe erfüllt und α hat überall einen nahezu gleichen Wert 0.0064. A_0 variiert bekanntlich und ist nahe am Äquator negativ, auf höheren Breiten positiv, wie aus dem Vorhingesagten leicht zu ersehen ist.

Wir kommen nun zur Ladung und Entladung der äusseren Luftschichten zurück. Dieselben verlaufen, die Ladung bei Tag, die Entladung, wenn die Ladung gross genug geworden ist, d. h. vorzugsweise am Nachmittag. Die Ladung ist nun am stärksten gerade da, wo die Sonne am Tage am höchsten gestanden hat. Da muss die Entladung auch am stärksten sein, teils wegen der starken Ladung, teils wegen der ultravioletten Strahlung, welche die Entladung begünstigt. Die entladenden Partikelchen werden zuerst von der Erde hinausgestossen und danach von der Sonnenstrahlung weggestossen. Die erstgenannte Wirkung wird nach dem Erdradius hin wirken, die letzterwähnte längs der Verbindungslinie der Sonne mit der Erde, d. h. in der Ebene der Ekliptik. Von Aussen gesehen wird es sich ausnehmen, als ob eine Garbe von der Erde herausstände, deren grösste Konzentration zwischen den Wendekreisen läge, und deren Richtung in der Ebene der Ekliptik nach der Schattenseite der Erde hin fiele. Diese Garbe müsste an der Abendseite der Erde stärker entwickelt sein, als an der Morgenseite.

Dieses Verhalten entspricht gänzlich demjenigen des Zodiakallichtes. Auch ist die oben gegebene Deutung desselben gewissermaassen nur eine Umschreibung der von Förster gegebenen[1]), in welcher er die Analogie des Zodiakallichtes mit den Kometenschweifen hervorhebt. Das Zodiakallicht wäre gewissermaassen ein doppelter Schweif der Erde, welcher an die äquatoriale Gegend gebunden ist und in der Richtung von der Sonne sich ausdehnt.

Diese Lichterscheinung breitet sich nach beiden Seiten in der Ebene der Ekliptik zur Nachtseite der Erde aus, wo die beiden Zweige scheinbar sich mit dem Gegenschein (vgl. oben) vereinigen.

Ganz anders muss der Mond sich verhalten. Da er keine Atmosphäre besitzt, wird seine Ladung sich über seine ganze Oberfläche ausdehnen und die von ihm ausgehenden entladenden Partikelchen müssen diesen Himmelskörper mit einem nach allen Richtungen gleichmässig entwickelten Schweif umgeben. Es verdient wohl hervorgehoben zu werden, dass man den kosmischen Staub, welcher den Mond umgiebt, bei Mondfinsternissen beobachten kann, indem der Schatten der Erde auch ein kleines Stück ausserhalb der Mondscheibe sichtbar ist.[2])

Man kann sich nun fragen, was wird aus allen diesen von der Sonne hinweg fliegenden, negativ geladenen Partikelchen. Einige fallen

1) Förster, Himmel und Erde 1, 228 und 691, 1889.
2) Förster: l. c.

auf die Sonne zurück, aber andere sind für immer für diesen Himmelskörper verloren. Sie wandern dann im Weltraum herum, bis sie entweder anderen ähnlichen Partikelchen, von der Sonne oder anderen Sternen stammend, begegnen, oder bis sie gegen einen Himmelskörper stossen. Im ersten Fall werden sie zufolge der Wärmeentwickelung beim Stoss zusammensintern und dann zufolge der Kapillarkräfte zusammenhalten. So können sich am Ende ganz bedeutende Massen ansammeln. Aber wenn sie nicht ihre elektrischen Ladungen verlieren könnten, würde zuletzt diese Ansammlung ein Ende erreichen. Zufolge der ultravioletten Strahlung der wärmsten Himmelskörper geschieht aber die Entladung ohne weiteres. Die Verteilung wird infolgedessen diejenige sein, dass die geladenen Teile sich konzentrieren, während sie noch kleinere Teile mit relativ starken negativen Ladungen abstossen. Die ersteren zusammensinternden Teile bilden Anziehungszentra und sammeln immer mehr Materie auf. Ihre Zusammensetzung wird sehr inhomogen und schwammig sein, die verschiedenen kleinen Teile derselben sind in einem Zustande, wie wenn sie direkt aus dem Gaszustande sublimiert wären, was sie ja auch jeder für sich thatsächlich sind. Dies sind gänzlich, nach Nordenskiölds[1]) und Daubrées[2]) Beschreibungen, die Merkmale der Steinmeteorite und auch der allermeisten Eisenmeteorite, welche zu unserem Sonnensystem aus unendlichen Entfernungen herüberkommen.

Es fällt sehr schwer, die Entstehung der Meteorite in anderer Weise zu verstehen. Ihre Zusammensetzung entspricht sehr nahe derjenigen der vulkanischen Produkte von basischer Beschaffenheit d. h. aus grösserer Tiefe[3]). Dies ist ein Beweis dafür, dass die Erde ebenso zusammengesetzt ist, wie das Universum im allgemeinen oder richtiger, wie die Sonnen des Universums, denn aus diesen stammen die Partikelchen der Meteorite ursprünglich.

Ein anderer Teil dieser Partikelchen wird von anderen Himmelskörpern aufgefangen und in dieser Weise besteht ein ständiger Austausch der materiellen Bestandteile der Himmelskörper, welcher, obgleich scheinbar unbedeutend, in dem ewigen Laufe der Zeit zur Ausgleichung der vielleicht vorhandenen materiellen Verschiedenheiten beigetragen hat. Dabei führen sie natürlicherweise auch negative Elektrizität zu diesen Himmelskörpern mit. Die Sonnen werden demnach in elektrischer Hinsicht sich ebenso verhalten wie unsere Erde. Der innere Körper besitzt zufolge der herunterfallenden negativ geladenen Partikelchen eine negative Ladung. Die umgebende Gasmasse hat einen sehr grossen Überschuss an positiver Ladung, welche die innen liegende negative Ladung überwiegt, und zuletzt fliegen die negativ geladenen Partikelchen ausserhalb der Sonne und ihrer Atmosphäre im Weltraum herum.

Die grösste Ausbreitung unter den Himmelskörpern besitzen die Nebel, welche überall auf dem Himmelsgewölbe zerstreut sind. Es ist sehr wahrscheinlich, dass in jeder beliebigen Richtung ein Nebel liegt. Dieselben werden deshalb in höchstem Grade geeignet sein, die herumirrenden negativ geladenen Partikelchen einzufangen. Dies erklärt eine sonst sehr schwerverständliche Erscheinung. Die Nebel bestehen aus einer äusserst verdünnten Materie, welche ein Gasspektrum giebt, das hauptsächlich die Wasserstoff-, Stickstoff- (?) und Heliumlinien sowie eine Linie unbekannten Ursprunges enthält. Wegen der kolossalen Ausdehnung der Nebel muss man voraussetzen, dass die Schwerewirkung in ihnen ausserordentlich gering ist und zur Zusammenhaltung der Nebelmaterie, besonders der äussersten Teile davon, nur sehr wenig Kraft liefern kann. Wenn nun die Gase der Nebel glühend wären, d. h. eine Temperatur von wenigstens 500° C. besässen, so würde die Schwerewirkung sich nicht der Expansivkraft der Gase entgegensetzen können, sondern dieselben würden sich ausdehnen und in den unendlichen Raum hinausdiffundieren. Es ist also nötig anzunehmen, dass die Nebelmaterie, besonders in den äusseren Teilen, eine sehr niedrige Temperatur besitzt, die sehr wenig von dem absoluten Nullpunkt sich unterscheidet. Diese Annahme wird auch von vielen Astrophysikern gelegentlich gemacht. Aber unter solchen Umständen können die Nebel nicht leuchten. Wenn aber elektrisch geladene Partikelchen in sie hineindringen, werden elektrische Entladungen in den Nebelmassen stattfinden und dieselben zum Leuchten bringen. Dabei ist die tiefe Temperatur kein Hindernis, im Gegenteil zeigen neuerdings von Herrn J. Stark[1]) angestellte Versuche, dass das elektrische Leuchten eines Gases um so intensiver ist, je niedriger die Temperatur.

Dadurch wird auch ein anderer Umstand erklärlich, nämlich derjenige, dass die Nebel nur mit Licht leuchten, welches den leichtesten, bezw. den am leichtesten durch elektrische Schwingungen zu Lichtentfaltung zu erregenden Gasen ent-

1) Nordenskiöld, Studier och forskningar 181, Stockholm 1883. „Alles deutet darauf hin, dass diese kosmischen Eisenmassen sich in der Weise gebildet haben, dass Atom nach Atom von Eisen, Nickel, Phosphor u. s. w. sich im Weltall aggregiert hat.“ „Ein ähnliches Verhalten findet bei den meisten Steinmeteoriten statt.“ „Der Stein ist so poröse und locker, dass er zum Filtrum dienen kann, und lässt sich zwischen den Fingern zerpulvern.“

2) Daubrée, Comptes Rendus **96**, 345, 1893.

3) Vgl. E. Reyer, Theoretische Geologie, 227—232, Stuttgart 1888.

1) J. Stark, Ann. d. Physik, (4), **1**, 424, 1900.

spricht. Die leichtesten Gase konzentrieren sich nämlich zufolge der Wirkung der Schwere in den äussersten Schichten der Nebel, während die schwereren Gase sich nach den inneren Teilen konzentrieren. Es sind nun nur die äussersten Teile, welche die herumirrenden negativen Partikelchen einfangen, ebenso wie dies in den äussersten Teilen unserer Atmosphäre geschieht. Früher glaubte man, zur Erklärung des Umstandes, dass in den Nebeln nur die Wasserstofflinien — man kannte damals nicht die Heliumlinien — vorkommen, sogar die Annahme machen zu dürfen, dass unter äusserst geringen Drucken alle Körper in Wasserstoff, oder Bestandteile des Wasserstoffs zerfallen. Diese Idee leidet daran, dass keine einzige andere Erscheinung zu ihrer Stütze angeführt werden kann, während die chemischen Erfahrungen ihr gänzlich widersprechen. Ebenso abenteuerlich wäre es anzunehmen, dass in den Nebeln nur einige wenige der bekannten chemischen Körper repräsentiert wären.

Die oben gegebene Erklärungsweise löst auf die einfachste Art diese Schwierigkeit, indem sie annimmt, dass nur (oder wenigstens in ganz überwiegendem Grade) die äussersten Teile der Nebel Licht aussenden. Dies stimmt auch sehr gut mit den Beschreibungen über das Aussehen der Nebel überein, indem diejenigen Stellen nicht am stärksten leuchten, von welchen man aus der Konfiguration vermuten könnte, dass sie die dicksten Gasschichten enthalten, sondern eher die Randteile sich durch relativ starke Lichtentwickelung auszeichnen. Als Beispiele mögen die planetarischen und die Ringnebel angeführt werden.

Natürlicherweise können allmählich diese kleinen Partikelchen sich zu grösseren Centren zusammenballen oder auch Meteorite in die Nebel hineindringen und dadurch Centra zu beginnenden Kondensationen abgeben, wodurch die Nebel sich allmählich zu Sternhaufen entwickeln.

Die oben entwickelten Ansichten zeigen in vielen Punkten grosse Ähnlichkeit mit den von De Mairan vor 170 Jahren ausgesprochenen, wonach die Nordlichter von dem kosmischen Staub herrühren sollten, welcher sonst als Zodiakallicht sich kundgiebt. Er glaubte aber, dass dieser Staub in einem Ringe um die Sonne kreise und nicht radiell ausstrahle. Auch war er nicht der Ansicht, dass dieser Staub elektrisch geladen sei, sondern suchte die (elektrischen und) magnetischen Wirkungen des Nordlichtes in anderer Weise zu erklären. Das teilweise Zusammenfallen der längst verlassenen De Mairanschen Ansicht mit der oben durchgeführten zeigt doch, dass einige richtige Deutungen der Beobachtungen für seine Ansichten zu Grunde lagen, wie dies so häufig mit als veraltet angesehenen Anschauungen der Fall ist. Auch in vielen anderen Hinsichten erinnert die oben durchgeführte Anschauung an alte, jetzt verlassene Hypothesen, welche auf teilweise richtige Beobachtungen gegründet waren.

(Eingegangen 10. Oktober 1900.)

Eine einfache Geberanordnung für Demonstrationen zur Funkentelegraphie.

Von W. Biegon von Czudnochowski.

Seit geraumer Zeit bediene ich mich bei Versuchen über Funkentelegraphie einer sehr einfachen Senderanordnung unter Verwendung von Leydener Flaschen, welche sich als sehr wirksam erwiesen hat. Ich bin zu derselben geführt worden einmal dadurch, dass mir kein sog. Righischer Radiator zur Verfügung stand, andrerseits weil ein solcher doch nur ziemlich kurze Wellen giebt [1]), und die Energie der Strahlung mit Vergrösserung der Wellenlänge bedeutend zunimmt [2]).

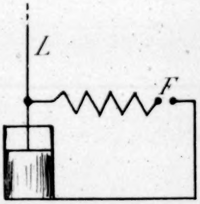

Fig. 1.

Vor kurzem hat nun Herr Prof. Braun (Strassburg) eine neue Geberanordnung veröffentlicht [3]) und mit derselben Versuche auf grössere Entfernung angestellt (Cuxhafen-Helgoland), welche mit der meinigen verwandt ist. Braun verwendet in Reihe geschaltete Kondensatoren von gleicher Kapazität und gleicher Schwingungsdauer [4]); auch kommen Induktionsspulen zur Anwendung. Für die gute Wirkung ist es von wesentlichem Vorteil, wenn die Belegungen der Kondensatoren sich umschliessen, um Verluste durch Streuung oder Reflexion thunlichst zu vermeiden [5]), wozu

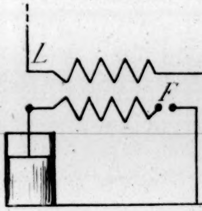

Fig. 2.

1) A. Righi. Die Optik der elektrischen Schwingungen. Leipzig 1898. O. R. Reisland. S. 29.
2) P. Lebedew, Wied. Ann. 56, 9, 1895.
3) D. R. P. No. 109378.
4) Elektrotechn. Rundschau. XVII (1899—1900) S. 203.
5) Ebenda. S. 202.

Leydener Flaschen am einfachsten verwendbar sind, und sind dafür folgende vier Schaltungen angegeben[1]): Figur 1—4. In den Figuren bezeichnet L den Luftdraht, F die Funkenstrecke; in Fig. 1 und 3 ist der Luftdraht direkt mit dem Kondensator verbunden, in

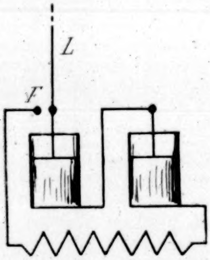

Fig. 3.

Fig. 2 und 4 dagegen werden in ihm die Wellen durch Induktion erregt. Fig. 3 und 4 zeigen die Verwendung zweier Leydener Flaschen in sog. Kaskadenschaltung.

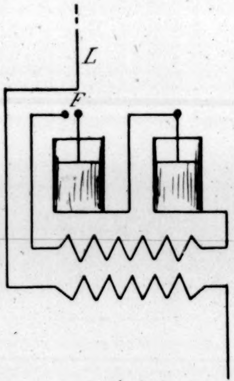

Fig. 4.

Für meine Zwecke kam es darauf an, eine möglichst einfache Anordnung zu finden, welche noch bei verhältnismässig geringem Energieaufwand gute und sichere Wirkungen ergiebt. Um dies zu erreichen, ist es notwendig, erstens nicht zu kurze Wellen zu erzeugen, zweitens dafür zu sorgen, dass dieselben möglichst rein auftreten, und dass geringe Dämpfung vorhanden ist[2]). Um diesen Anforderungen zu genügen, habe ich den eigentlichen Erreger vollkommen symmetrisch gestaltet, ferner den die Wellen in den Raum hinaussendenden Luftdraht ohne jede leitende Verbindung mit dem Erreger angebracht. Die ganze Schaltung ist in Fig. 5 gezeichnet. Die beiden Polkugeln einer Funkenstrecke F sind einerseits durch zwei gleichlange Drähte d_1 d_2 mit den äusseren Belegungen zweier isoliert aufgestellter Leydener Flaschen L_1 und L_2 verbunden, andrerseits durch zwei andere Drähte d_3 d_4 mit der Sekundärspule eines Induktoriums. Von dem inneren Belege der einen

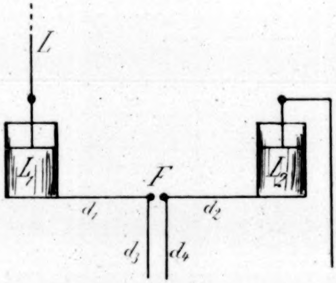

Fig. 5.

Flasche geht der Luftdraht L aus, die innere Belegung der anderen ist zur Erde abgeleitet, doch kann diese Erdleitung auch fehlen, ohne das Gelingen der Versuche sonderlich zu beeinträchtigen. Fig. 6 giebt eine vollständige Ansicht der gesamten Versuchsanordnung.

Die Anwendung von Leydener Flaschen in der beschriebenen Schaltung zur Erregung von elektrischen Wellen in Drähten ist nicht ganz

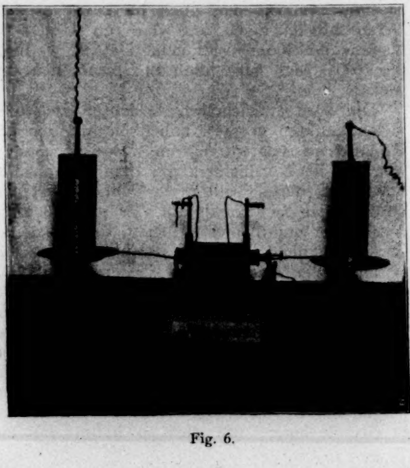

Fig. 6.

1) Elektrotechn. Rundschau. XVII, 202, (1899—1900).

2) S. Hertz, Ausbreitung der elektrischen Kraft. Leipzig, J. A. Barth 1892, S. 54 Anm. 1, sowie S. 55 und folgende; V. Bjerknes, Wied. Ann. 44, 1891.

neu [1], man hat sie auch namentlich für die Erzeugung von Hochfrequenzströmen nach Tesla benutzt [2]; doch ist mir eine Anwendung für die Funkentelegraphie bisher nicht bekannt geworden. Statt der Leydener Flaschen kann man auch den Hertzschen Plattenerreger, wie er zur Erregung der Wellen im Lecherschen Drahtsystem verwendet wird, gebrauchen [3], oder passende Glaskondensatoren [4]. Die Wirkung ist allerdings bei Benutzung des Plattenerregers ceteris paribus etwas schwächer als bei der vorher beschriebenen Anordnung. Zur Verwendung gelangten bei meinen Versuchen zwei Leydener Flaschen von je 26 cm Höhe des Glases, 20 cm Höhe der Belegung, 11 cm äusserem Durchmesser und 3 mm Glasdicke, oder zwei Paare Weissblechplatten von 25×25 cm Oberfläche und 5 cm Plattenabstand bei 50 cm seitlichem Abstand der Plattenpaare voneinander. Die übrigen in Betracht kommenden Maasse waren:

Länge des Senderdrahtes: $l_g = 5500$ mm.
Länge des Empfängerdrahtes: $l_e = 10000$ mm.
Durchmesser der Polkugeln: $d_p = 10$ mm. (Zink)
Länge der Funkenstrecke: $F = 2$—10 mm.
Länge der Verbindungsdrähte $d_1 + d_2$: $l' = 800$ bezw. 1000 mm.

Der Geber stand im Zimmer, der Luftdraht L ging frei durch das offene Fenster und in ca. 50 cm Abstand von der Mauer senkrecht in die Höhe; der Empfänger befand sich im Freien.

Es liessen sich bei Verwendung eines einfachen Fritters (von Keiser und Schmidt) in Verbindung mit dem von mir beschriebenen einfachen Relais [5]) vollkommen sichere Wirkungen erzielen bei 40–50 m Abstand, trotzdem sich belaubte Bäume sowie hohe Turngerüste zwischen Sender und Empfänger befanden, selbst als das Induktorium (mit Deprezunterbrecher versehen) mit nur 4 Volt gespeist wurde, wobei es zwischen Spitze und Platte höchstens 4 cm Funkenlänge gab; bei stärkerer Leistung vergrössert man zweckmässig die Funkenstrecke entsprechend.

Es ist zu bemerken, dass die Apparate nicht besonders aufeinander abgestimmt, waren, sondern nur für ihr gutes Arbeiten im einzelnen Sorge getragen und das Relais möglichst empfindlich eingestellt war. Die Versuchsergebnisse waren derart, dass man den Eindruck gewann, noch nicht an der Grenze der Wirksamkeit der verwendeten Apparate angelangt zu sein.

Berlin, den 1. November 1900.

(Eingegangen 3. November 1900.)

1) O. Lodge, The work of Hertz and his successors. New ed. S. 36
2) Himstedt, Wied. Ann. **52**, 473, 1894.
3) H. Hertz, l. c. S. 200.
4) Töpler, Wied. Ann. **46**, 464, 1892.
5) Diese Zeitschr. II, S. 3, 1900.

Zur Dynamik der Serienschwingungen eines Linienspektrums.

Von Eduard Riecke.

In der ersten Nummer des ersten Jahrganges dieser Zeitschrift habe ich ein System zweier partieller Differentialgleichungen angegeben, dessen Lösung auf Schwingungen von der Art der Serienschwingungen eines Linienspektrums führt. [1]) Diese Gleichungen hatten einen kinematischen Charakter, denn es fehlte in denselben das die Beschleunigung enthaltende Glied. Man kann nun die Gleichungen leicht durch ein solches Glied ergänzen, so dass sie den Charakter wirklicher mechanischer Differentialgleichungen erhalten. Allerdings besteht zwischen den früheren Gleichungen und jenen erweiterten ein nicht unwesentlicher Unterschied. Für die Schwingungszahlen der Partialschwingungen ergaben die früheren Gleichungen ganz direkt die Kayser-Rungesche Formel:

$$p = a - \frac{b}{n^2} - \frac{c}{n^4}.$$

Bei den neuen Gleichungen besitzt diese Formel nur eine angenäherte Gültigkeit; sie ist das Produkt einer Reihenentwickelung und setzt voraus, dass der Faktor der Beschleunigung in den Differentialgleichungen gewissen anderen Grössen gegenüber sehr klein sei.

Die neuen Gleichungen lauten:

$$\text{I)}\quad \begin{aligned} &\frac{1}{2\pi}\cdot\varrho\frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} + 2\pi a\frac{\partial^4 u_1}{\partial\varphi^4} + 2\pi b\frac{\partial^2 u_1}{\partial\varphi^2} - 2\pi c\, u_1 + \frac{\partial^5 u_2}{\partial\varphi^4\, dt} = 0,\\ &\frac{1}{2\pi}\varrho\frac{\partial^2 u_2}{\partial t^2} + 2\pi a\frac{\partial^4 u_2}{\partial\varphi^4} + 2\pi b\frac{\partial^2 u_2}{\partial\varphi^2} - 2\pi c\, u_2 - \frac{\partial^5 u_1}{\partial\varphi^4\,\partial t} = 0. \end{aligned}$$

Wir lösen diese Gleichungen wieder durch die Ansätze:

$$\text{II)}\quad \begin{aligned} u_1 &= \sum_n \cdot A_n \sin n\varphi \sin 2\pi p t,\\ u_2 &= \sum_n \cdot A_n \sin n\varphi \cos 2\pi p t. \end{aligned}$$

Zwischen der Schwingungszahl p und der Zahl n muss dann die Beziehung bestehen:

1) Siehe auch Ann. d. Phys. **1**, 399, 1900.

$$p\,n^4 + p^2\,\varrho = a\,n^4 - b\,n^2 - c.$$

oder:

$$\text{III)} \quad p\left(1 + \frac{p\,\varrho}{n^4}\right) = a - \frac{b}{n^2} - \frac{c}{n^4}.$$

Nun nehmen wir an, dass ϱ gegen $\frac{n^4}{p}$ sehr klein sei; wir können dann in der Klammer p durch seinen Grenzwert a ersetzen und erhalten:

$$\text{IV)} \quad p = a - \frac{b}{n^2} - \frac{c + a^2\,\varrho}{n^4}.$$

Wir erhalten also für die Schwingungszahl p wieder die Formel von Kayser und Runge.

Die Parameter u_1 und u_2 habe ich früher als Verschiebungen gedeutet, welche die Punkte eines geschlossenen, kreisförmigen Ringes in zwei zu einander senkrechten Richtungen erleiden. Von diesem Gesichtspunkte aus würden nun die mit den Koeffizienten a, b, c behafteten Glieder unserer Gleichungen eine einfache mechanische Deutung zulassen.

Die Glieder $2\pi\,a\,\frac{\partial^4 u_1}{\partial\varphi^4}$ und $2\pi\,a\,\frac{\partial^4 u_2}{\partial\varphi^4}$ würden einer durch die Biegung des Ringes erzeugten elastischen Reaktion entsprechen.

Die Glieder $2\pi\,b\,\frac{\partial^2 u_1}{\partial\varphi_2}$ und $2\pi\,b\,\frac{\partial^2 u_2}{\partial\varphi^2}$ würden aus einer in dem Ringe wirksamen Longitudinalspannung abzuleiten sein.

Ist die Konstante c positiv, so sagen die Glieder $-2\pi\,c\,u_1$ und $-2\pi\,c\,u_2$ aus, dass auf die Teilchen des Ringes Abstossungskräfte wirken, welche von den Ruhelagen der Teilchen auszugehen scheinen.

Dagegen fehlt für die Glieder $\frac{\partial^5 u_2}{\partial\varphi^4\partial t}$ und $-\frac{\partial^5 u_1}{\partial\varphi^4\partial t}$ vorläufig eine unmittelbar anschauliche Deutung. Differentialquotienten von der Form $\frac{\partial^5}{\partial\varphi^4\partial t}$ kommen in der Theorie der Reibung vor. Andererseits besitzen die Glieder vermöge des Wechsels im Vorzeichen und durch das Auftreten erster Differentialquotienten nach der Zeit eine gewisse Analogie mit den Termen, durch welche in der molekularen Theorie des direkten Zeeman-Effektes die gewöhnlichen Schwingungsgleichungen erweitert werden. Eine ausführlichere Mitteilung behalte ich mir für die Annalen der Physik vor.

(Eingegangen 5. November 1900.)

ZUSAMMENFASSENDE BEARBEITUNGEN.

Der heutige Stand der Theorie des Erdmagnetismus.

Von A. Nippoldt.

Es ist für die Arbeitsweise von Gauss charakteristisch, dass er keine Untersuchung eher veröffentlichte, als bis sie in sich gänzlich abgeschlossen war und auf einer Höhe der Durchbildung stand, die bei den vorhandenen Mitteln seiner Zeit und dem gegebenen Materiale nur irgend erreichbar war. War aber irgendwo eine schwache Stelle, so versäumte er nicht, bei jeder Gelegenheit auf diese Lücke hinzuweisen. Daher schreibt sich der klassische Wert seiner Werke, und es ist begreiflich, dass für eine lange Reihe von Jahren das Bestreben der Nachwelt ganz hauptsächlich darauf gerichtet war, jene Lücken auszufüllen; erst verhältnismässig spät ging man daran, seine Methoden auszubilden. Auf dem Gebiete des Erdmagnetismus ist dies ganz besonders spät eingetreten — erst etwa Ende der achtziger Jahre — dafür aber mit einer Energie, Vielseitigkeit und Einheitlichkeit, wie wohl in keinem anderen Gebiete der Geophysik. Diese Thätigkeit hat eine grosse Anzahl neuer Ideen und Gesichtspunkte erschlossen, und dabei hat sich gezeigt, dass die Erscheinungen des Erdmagnetismus bei weitem enger mit denen der Meteorologie und der Luftelektrizität zusammenhängen, als man das ursprünglich vermutete. Diese Erkenntnis ist jedoch noch sehr jungen Datums, weist aber der zukünftigen Forschung ganz andere Wege an, als die, die sie bisher einschlug. Die Beantwortung der neu aufgetauchten Fragen liegt mehr auf dem Gebiete der Elektrizitätlehre und der Physik der Atmosphäre als auf dem des reinen Magnetismus. Die Eigenheit des Stoffes erfordert daneben die Schaffung neuer, kritischer Berechnungsmethoden oder die kritische Anwendung der vorhandenen. Dadurch wird der Kreis der am Erdmagnetismus Interessierten ein grösserer werden. Es dürfte daher gerade jetzt von Interesse sein, einen Überblick über die Entwicklung der Theorie vom Erdmagnetismus zu bieten, wo ein gewisser Abschluss erreicht ist. Dies der Zweck der folgenden Zeilen. —

Gauss' Theorie des Erdmagnetismus ist unter seinen Arbeiten eine der am meisten in sich geschlossenen und abgerundeten. Dies ist sie auch in Bezug auf das Material, auf das sie sich stützt; es umfasst fast alle damals vorhandenen

Beobachtungen. Dass die geringe Zahl und die Ungenauigkeit dieser Messungen eine genaue Darstellung der magnetischen Verhältnisse der Erde durch die Koeffizienten, welche Gauss berechnete, nicht gestatten, das ist in diesem Falle der wunde Punkt, auf den Gauss selbst immer und immer wieder hindeutet. Und so ist dies denn der Weg geworden, auf welchem die Arbeit seiner Nachfolger fortschritt: man schuf neues Material, bessere Beobachtungsmethoden (wobei Gauss, Weber und Lamont den Hauptanteil übrigens selbst thaten) und führte die Gaussischen Rechnungen aufs neue durch. Namentlich, nachdem in den ersten Jahrzehnten nach dem Erscheinen der Gaussischen Theorie die Beobachtungen an Zahl bedeutend grösser und an Zuverlässigkeit reicher geworden waren, galt immer als Endziel aller Forschung das, Konstanten berechnen zu können, die die Verteilung des Magnetismus der Erde besser wiedergeben, als die alten Gaussischen. Da die ersten Neuberechnungen auf Grund des so erweiterten Materials zu wesentlichen Fortschritten in der Genauigkeit nicht führten, setzte man die Bestrebungen in der gleichen Richtung — Vermehrung der Beobachtungen und Verbesserung der Messungsmethoden — fort, immer in der Hoffnung, die Abweichungen gegen die Wirklichkeit einst so klein zu erhalten, dass Gauss' Bedenken gegen das Material gehoben werden könnten. So entstanden schliesslich als Abschluss dieser Bestrebungen die von Neumayer berechneten Karten des Erdmagnetismus, wie sie in Berghaus Physikalischem Atlas veröffentlicht sind.

Die Berechnung selbst und alle vorhergehenden benutzten, wie Gauss, 24 Glieder und nahmen die Erde als kugelförmig an. 1897 veröffentlichte nun Fritsche die Resultate einer umfassenden Neuberechnung, in der er untersuchte, wieviel Glieder der Reihe überhaupt zu verwenden sind, damit die Genauigkeit der Darstellung ein Maximum wird. Indem er die Rechnung auf 63 Konstanten ausdehnte, konnte er zeigen, dass in diesem Falle die Übereinstimmung nicht besser wurde, als bei Verwendung von nur 48 Koeffizienten, dass diese aber genauere Darstellungen lieferten als 24 Glieder, mithin 48 notwendig und hinreichend sind.

Eine neue Epoche in der Theorie des Erdmagnetismus beginnt mit den Untersuchungen Ad. Schmidts. Er arbeitete Gauss' Methode nicht nur für eine elliptische Erde um, sondern nahm auch die Tradition der Gaussischen Theorie an einem ganz anderen Punkte auf, als seine Vorgänger, indem er nicht in der rechnerischen Darstellung der Beobachtungen das Ziel und Ende der Gaussischen Theorie erblickte, sondern in der Verwertung der rechnerischen Resultate zur Lösung der von Gauss angeregten oder neu entstandener Fragen über die Grundlagen der Theorie und das Wesen des Erdmagnetismus. Dies führt zur Theorie des sogenannten „konstanten Magnetismus der Erde", worunter man jenen Anteil versteht, der nur säkularen Änderungen unterworfen ist. Damit ward das Centrum der Forschung gänzlich verschoben und zwar im Sinne von Gauss, denn ihm war nicht sowohl die Darstellung der Beobachtungen durch Konstanten der Hauptzweck, als vielmehr die Darstellung des magnetischen Zustandes der Erde unter der Annahme eines Potentiales.

Auch ausserhalb des Kreises der engeren Fachgenossen ist es bekannt, dass Gauss aus den geographischen Koordinaten dreier und den magnetischen Elementen an zwei dieser Orte den magnetischen Zustand am dritten Orte berechnete. Allein es war in Vergessenheit geraten, dass diese Rechnung nur eine Beispielsrechnung für einen wesentlichen und wichtigen Satz war. Gauss hatte nachgewiesen, dass das Intregral $\int H \cos \Theta \, ds$ über eine beliebige geschlossene Kurve auf der Erdoberfläche erstreckt Null ist, wenn die Erde ein Potential besitzt. Diesen Satz wendete er auf ein Polygon aus grössten Kreisen an und spezialisierte ihn für die genannte Beispielsrechnung auf ein Dreieck. Die eigentliche Bedeutung des Satzes liegt aber nicht sowohl in dieser Anwendung, sondern darin, dass er die Grundlage der Theorie untersucht, ob die Erde überhaupt ein Potential besitzt, oder ob ihr Magnetismus zum Teil Kräften zuzuschreiben wäre, die kein Potential haben. Schmidt betrachtet als solche namentlich elektrische Ströme, welche die Fläche der geschlossenen Kurve senkrecht durchsetzen. Für einen solchen Fall ist

$$\int H \cos \Theta \, ds = 4\pi J,$$

wo J die resultierende Stromstärke aller die Fläche durchsetzender Ströme ist. Schmidt berechnete anfänglich, dass etwa $^1/_{10}$ der Gesamtintensität des Erdmagnetismus von solchen Strömen herstammen kann. Es sei hier vorweg bemerkt, dass man für unsere Gegenden eine Stromstärke von 0.091 Amp. auf den Quadratkilometer berechnet hat. Gleichzeitig mit Schmidt und zugleich unabhängig von ihm erkannten auch A. W. Rücker, Carlheim-Gyllenskiöld und Bezold die eigentliche Bedeutung dieses Kurvenintegrals aufs neue, dessen Untersuchung daher nun in den Vordergrund der Forschung trat.

Als eine solche auf der Erdoberfläche liegende geschlossene Kurve betrachtete v. Bezold zunächst einen beliebigen Breitenkreis. Gauss entwickelte die Y-Komponente der Horizontal-

kraft längst eines solchen Breitenkreises in die harmonische Reihe der Länge λ

$$Y = l + l' \cos \lambda + L' \sin \lambda + \ldots$$

Die Bedingung, dass das Kurvenintegral $\int Y\, dy = 0$ ist, ist dann identisch mit der Bedingung, dass $l = 0$. Das Ergebnis ist, dass die l einzelner Breitenkreise von einander und von Null sehr verschieden sind. Das besagt also entweder, dass die Annahme eines Potentiales nicht zulässig ist, oder dass die Beobachungsfehler zu gross sind. Und in der That sind die Beobachtungen längs eines Parallelkreises so ungleich verteilt, dass die Genauigkeit der Rechnung nicht gross sein kann. Deshalb wählen Rücker, Carlheim-Gyllenskiöld und v. Bezold eine andere geschlossene Kurve und zwar ein geographisch orientiertes Trapez aus Längen- und Breitenkreisen in einem magnetisch gut vermessenen Gebiete. Sind λ_1, λ_2, φ_1, φ_2, die Koordinaten der Eckpunkte, X_1, X_2, Y_1, Y_2 die Werte der Komponenten in der Horizontalen, so wird

$$\int H \cos \Theta\, ds = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} X_1\, d\varphi + \cos \varphi_2 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Y_2\, d\lambda - \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} X_2\, d\varphi - \cos \varphi_2 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Y_1\, d\varphi.$$

Bei äquidistanten Beobachtungen lässt sich dies Integral leicht durch mechanische Quadratur berechnen. Bezold wählte ein Trapez, das Mitteleuropa umfasst und fand als Wert des Integrals auf den Erdradius reduziert: 0.00081 = 1 Proz. des Gesamtwertes, was einen ausserordentlich kleinen Wert vorstellt. In der Folge ist das Verfahren mehrmals angewendet worden; so namentlich von Liznar, der für das von ihm vermessene Österreich-Ungarn bei der Summation über die eine Breiten- und Längenseite des Trapezes den Wert 0.0271442, längs der anderen beiden Seiten den Wert 0.0271396, also den Unterschied 0.0000046 erhielt, oder 0.017% des Einzelwertes. Damit ist es äusserst unwahrscheinlich gemacht, dass der konstante Teil des Erdmagnetismus auch auf Kräfte ohne Potential zurückzuführen ist, also z. B vertikal-elektrische Ströme, wenigstens von der angegebenen Grössenordnung der Stromstärken.

Inzwischen ist die Frage jedoch nach den verschiedensten Seiten untersucht worden, was zu neuen Gesichtspunkten geführt hat. In erster Linie ist hier die Arbeit von L. A. Bauer zu nennen über die Verteilung der hypothetischen vertikal-elektrischen Ströme längs eines Meridians. Er berechnet den Wert der Integrale längs schmaler Streifen zwischen benachbarten Breitenkreisen und daraus die Intensität des hypothetischen Gesamtstromes. Er konnte vier Zonen so unterscheiden, dass in ihnen die Summe der Stromintensitäten, die in positiver und negativer Richtung die Erde durchsetzen, Null ist. Und zwar liegen diese Zonen so, dass Zone I von 90—65° n. Br., Zone II von 65 bis 20° n. Br., Zone III von 20° n. Br.,—57° s. Br. und Zone IV von 57—90° s. Br. sich erstreckt. Wie oben gezeigt, ist die Integration längs eines Parallels jedoch zu unsicher, um weitere Schlüsse auf diesen Zahlen aufzubauen, immerhin ist die Arbeit recht interessant, da elektrische Vertikalströme dennoch am magnetischen Zustand der Erde beteiligt sein können, wenn auch nicht im konstanten Teil.

Es ist klar, dass sich aus der Idee der vertikal-elektrischen Ströme Beziehungen ergeben mussten zur Luftelektrizität, und so findet man denn hier eine grosse zusammenfassende Arbeit von Trabert über Zusammenhang zwischen den Erscheinungen des Erdmagnetismus und den elektrischen Vorgängen in der Atmosphäre (Meteor. Ztschr. 1898, 401 bis 412), worin die verschiedenen Hypothesen über das Wesen der Luftelektrizität dahin untersucht werden, wie sie sich zu den Schmidtschen Strömen und der Bauerschen Verteilung längs eines Meridianes stellen. Es gelingt Trabert, auf Grund der Annahme mechanischen Elektrizitätstransportes quantitativ eine Stromstärke für den Quadratkilometer auszurechnen, die dem Schmidtschen Werte entspricht. Ferner schlugen Elster und Geitel Verfahren vor, zwecks Untersuchung der Vertikalströme gleichzeitige Messungen des Erdmagnetismus und der Luftelektrizität anzustellen und Lemström veröffentlicht im dritten Bande des finnischen Polarwerkes sogar i. J. 1882 gemessene Stromstärken von Strömen aus höheren Regionen nach der Erde. Zu diesem Zwecke verbindet er einen auf einem Berge aufgestellten Apparat mit mehreren Hunderten von Spitzen metallisch mit dem Thalboden und bekommt so der Spannungsdifferenz entsprechende Ströme. Allein es bleibt fraglich, ob auch ohne metallischen Leiter solche Ströme zu stande kämen.

Der bleibende Wert der Untersuchung des Gaussischen Kurvenintegrals ist also der, dass der magnetische Zustand der Erde nur Kräften zuzuschreiben ist, die ein Potential besitzen und dass man in dieser Integration ein Mittel hat, die Güte einer Landesvermessung zu prüfen.

(Fortsetzung folgt.)

VORTRÄGE UND DISKUSSIONEN VON DER 72. NATURFORSCHERVERSAMMLUNG ZU AACHEN.

W. Wien (Würzburg), Die Temperatur und Entropie der Strahlung. (Referat: Vgl. diese Ztschr. 1, 610, 1900.)

Diskussion (von den Beteiligten durchgesehen).

Pringsheim (Berlin): Ich möchte nur an den letzten Teil der Ausführungen Wiens anknüpfen, nämlich an die theoretischen Bemühungen für die spektrale Verteilung der Energie der schwarzen Strahlung eine Formel zu finden. Ich bin darin ganz mit Wien einverstanden, dass sowohl sein erster Versuch als auch der von Planck Hypothesen enthält, welche ihrer Natur nach so wenig an der Erfahrung geprüft werden können, dass man beide Herleitungen nicht als sichere Basis für die weitere Erörterung betrachten kann. Ich will anknüpfen an die Herleitung von Wien. Ich muss dabei eingehen auf einen Punkt, den er zwar hier nicht genannt hat, der aber in dem Pariser Referat steht. Wien führt nämlich das Maxwellsche Gesetz nicht wie Michelson hypothetisch ein, sondern er sucht seine Anwendung dadurch zu rechtfertigen, dass er sich einen schwarzen Körper konstruiert, bei welchem die Strahlung von Gasmolekülen ausgeht.

Diese Erörterung scheint Lummer und mir einen Fehlschluss zu enthalten. Wien denkt sich als schwarzen Körper einen Hohlraum, dessen Wände vollständig gleich temperiert sind, und verfährt dann so, als ob sie aus Gasen beständen, bei denen die Verteilung der Molekulargeschwindigkeiten dem Maxwellschen Gesetze folgt und dann zieht er den Schluss, dass die Resultate für den schwarzen Körper im allgemeinen gelten. Dabei begeht er den Fehler, dass er die Strahlung, die er für solches Gas ausrechnet, gleichsetzt der Strahlung eines schwarzen Körpers. Diese ist ja vollkommen unabhängig von der Natur der Wände, und aus irgend welchen Voraussetzungen über die Natur der Wände kann man keine Schlussfolgerungen über die Strahlung des schwarzen Körpers machen. Würde man z. B. die Wände aus Platin annehmen, dessen Strahlung man ziemlich gut kennt, so würde man dazu kommen, die Strahlung des schwarzen Körpers gleich der des Platins zu setzen, genau so, wie Herr Wien die Strahlung des schwarzen Körpers gleich der der Gase setzt. So bleiben die Wienschen Hypothesen ganz auf dem Standpunkt der Michelsonschen, sie beziehen sich auf eine schwarze Oberfläche, für die man eine physikalische Existenz sich gar nicht denken kann.

Nun sagt Wien, Michelson muss noch die Hypothese hinzunehmen, dass die Energie der Strahlung eine Funktion der Temperatur ist; diese Funktion setzt Michelson zunächst willkürlich an, und kommt dann zu einem Strahlungsgesetz. Wien thut stillschweigend dasselbe, indem er aus dem Maxwellschen Verteilungsgesetz den Faktor $t^{-3/2}$ weglässt.

Diese Bemerkungen sind von Lummer und und Jahnke in einer Abhandlung gemacht worden, die demnächst in den Annalen der Physik erscheinen wird. (Ist inzwischen erschienen. (Siehe Bd. 3, S. 283—297.) Lummer und Jahnke gehen von ähnlichen Voraussetzungen aus wie Michelson und Wien, nicht als ob sie diese Hypothesen für physikalisch begründet oder wahrscheinlich hielten, sondern weil dieser Weg zu einer allgemeinen Form der Spektralgleichung führt, welche die Wiensche, Thiesensche und Rayleighsche als spezielle Fälle enthält. Über diese will ich lieber im Anschluss an die experimentellen Resultate sprechen, weil es ja auf den Vergleich der Formel mit der Erfahrung in erster Linie ankommt.

Wien: Der erste Einwand Pringsheims besagt, das Maxwellsche Verteilungsgesetz ist nicht anwendbar, weil die Natur der Körper nicht bekannt ist. Darauf möchte ich bemerken, dass dies Gesetz ja erst durch den zweiten Hauptsatz hinein kommt. Nicht die Natur der Wände, sondern der zweite Hauptsatz wird dadurch hinein gebracht. Das Charakteristische der Wärmebewegung muss hineingebracht werden, weil es sonst überhaupt keinen Gleichgewichtszustand giebt. Und deshalb scheint es mir gerechtfertigt, die Strahlung proportional der Anzahl der Moleküle zu setzen.

In Bezug auf den zweiten Einwand, das Weglassen des Factors $t^{-3/2}$ betreffend, scheint mir, dass das Stefansche Gesetz die Abhängigkeit der Strahlung von der Temperatur hineinbringt.[1])

Aber gewiss, die Ableitungen der Strahlung enthalten viele Hypothesen, was ich durchaus nicht bestreite[2]). (Eingegangen 20. Oktober 1900.)

1) Ich habe hierbei, wie mir nachträglich eingefallen ist, eine Verwechselung begangen. Das Stefansche Gesetz ist auch bei Behaltung des Faktors $t^{-3/2}$ erfüllt, nicht aber die thermodynamisch begründete Forderung, dass die Strahlung einer Wellenlänge mit zunehmender Temperatur nicht abnehmen darf.

2) Gegenüber diesen Ausführungen Wiens, welche mir beim Lesen ebenso unverständlich geblieben sind, wie sie mir beim Anhören in Aachen erschienen, möchte ich bemerken, dass Wien den von mir gemachten ersten Einwand nicht richtig wiedergiebt und auf beide Einwände nichts erwidert, was geeignet wäre, sie zu entkräften. Pringsheim.

REFERATE.

Instrumentenkunde.

Besorgt von Privatdozent Dr. **W. Kaufmann.**

Ferdinand Ernecke, Berlin. Preisliste über Röntgen-Apparate und -Instrumentarien.

Die 53 Seiten starke Broschüre kann jedem, der sich, sei es wissenschaftlich, sei es praktisch, mit Röntgenstrahlen beschäftigen will, als Ratgeber bei der Anschaffung der Apparate empfohlen werden. Der Beschreibung der einzelnen Apparatgruppen sind meist kurze Belehrungen über deren Anwendung beigefügt, die man im allgemeinen als sachlich richtig bezeichnen kann; nur scheint es dem Referenten mehr als bedenklich, wenn zum Laden von Akkumulatoren mit Hilfe einer Gleichstrom-Lichtleitung ein beigegebener Verbindungsstöpsel einfach in die Fassung einer herausgenommenen Glühlampe geschraubt werden soll; Durchschmelzen der nächsten Bleisicherung dürfte wohl im allgemeinen die Folge hiervon sein. Auch die von Dr. Kurt Müller-Erfurt geschriebene Einführung, welche in knapper und leicht verständlicher Form die Bedeutung der einzelnen Apparate bespricht, ist als korrekt und sachlich zu bezeichnen, wenn auch ein Satz wie: „.... da das Arbeiten mit Induktoren ohne Angaben (der Betriebsspannung und Stromstärke) zu dem mit exakten Angaben in einem solchen Verhältnis steht, wie die Wahrscheinlichkeitsrechnung zur exakten Rechnung“.... besser fortgeblieben wäre.

Unter den beschriebenen Apparaten befinden sich einige praktische Neuheiten, die hier kurz genannt seien:

1. Eine Röntgenröhre mit Wasserkühlung der Antikathode, bei der ein ständiger Durchfluss frischen Wassers stattfindet. Die Röhre ist namentlich für den Betrieb mit rapide arbeitenden Unterbrechern, z. B. Wehnelt- oder Turbinen-Unterbrecher, bestimmt, dürfte aber auch für wissenschaftliche Arbeiten, bei denen es auf grosse Konstanz ankommt, nützliche Dienste leisten. Ihr Preis beträgt etwa das Doppelte desjenigen gewöhnlicher Röhren.

2. Eine Röhre mit Regenerierung: Wenn die Röhre zu hart geworden, kann durch ein mittels einer Flamme weissglühend gemachtes Platinröhrchen Wasserstoff aus der Flamme durch Diffusion eingeführt werden. Auch diese Röhre dürfte zu wissenschaftlichen Arbeiten sehr zweckmässig sein.

3. Unter den Nebenapparaten befindet sich ein recht praktisches Messstativ nach Dr. B. Donath, mittels dessen sich z. B. rasch und sicher die Lage von Fremdkörpern im menschlichen Körper feststellen lässt. Den Schluss des Büchleins bilden Vorschläge zur Zusammenstellung von Röntgen-Instrumentarien in verschiedenen Grössen. W. K.

(Eingegangen 17. Oktober 1900.)

Einige thermische Eigenschaften von Quarz.

Schon seit längerer Zeit haben Quarzfäden eine weitgehende Verwendung in der Instrumentenkunde gefunden; ganz neuerlich ist man im stande, auch Röhren und Kügelchen aus geschmolzenem Quarz zu verfertigen. Wissenschaftliche Untersuchungen haben nun einige thermische Eigenschaften von geschmolzenem Quarz an den Tag gebracht, welche ihn für einige in Vorschlag gebrachte thermometrische Zwecke unbrauchbar zu machen scheinen. Zwar hat er, wie bekannt, einen sehr kleinen Ausdehnungskoeffizienten und bleibt auch bei sehr erhöhten Temperaturen so vollständig wie kein anderes Material unverändert, aber er hat, wie eine Untersuchung von Herrn P. Villard ergiebt (Comptes Rendus 130), die Eigenschaft, bei sehr hohen Temperaturen Wasserstoff hindurch zu lassen, was, wie bekannt, auch bei Platin der Fall ist. Wenn ein Quarzrohr in einer Bunsenschen Flamme auf eine Temperatur von ca. 1000^0 C. erwärmt wurde, so zeigte sich in einem mit ihm kommunizierenden Manometer ein allmählich wachsender Druck, der während eines Tages einige Centimeter Quecksilber betrug. Es stellte sich heraus, dass in dem Rohre Wasserstoff in ziemlich reinem Zustande vorhanden war. Ebenda finden wir eine Untersuchung von Herrn A. Dufour, nach welcher Quarzröhren, die ganz tadellos hergestellt sind, selbst sehr plötzliche Temperaturveränderungen (eine Zeit lang erwärmt und dann in kaltes Wasser hineingebracht) aushalten. K. Tsuruta.

Anzeige.

Einige junge **Naturwissenschaftler, Ingenieure oder Mathematiker** können im wissenschaftlichen Kolonialdienst baldigste Anstellung finden. Dieselben müssen ihre Studien abgeschlossen haben. Zunächst findet eine weitere Ausbildung zu astronomischen und geodätischen Aufnahmen statt. Tropendiensttauglichkeit ist erforderlich. — Meldungen sind an **Prof. Dr. L. Ambronn,** Göttingen oder an die **Kolonial-Abteilung des Auswärtigen Amtes** (Berlin, Wilhelmstr. 62) zu richten.

Für die Redaktion verantwortlich Dr. H. Th. Simon in Frankfurt a. M. — Verlag von S. Hirzel in Leipzig.
Druck von August Pries in Leipzig.